

В.Б. Струтинський, проф., д-р техн. наук

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

А.В. Кропивна, асп.

Кіровоградський національний технічний університет

Визначення оптичним методом низькочастотних коливань прутка на токарному багатопшпіндельному автоматі

В статті приведені результати розробки метода оптичного вимірювання низькочастотних коливань заготовки при обробці на токарному багатопшпіндельному автоматі. Встановлені закономірності переміщення центра заготовки, спектри амплітуд і початкових фаз коливань.

токарний багатопшпіндельний автомат, прутки, низькочастотні коливання, сплайн-інтерполяція

Віброакустичні характеристики токарного багатопшпіндельного пруткового автомата визначаються складним рухом прутка і його взаємодією з поверхнями деталей напрямних труб. Визначення кінематичних параметрів руху прутка являє собою складну задачу. Це обумовлено тим, що блок напрямних труб періодично повертається на кут 60° і складно здійснити виміри коливального руху прутка, який знаходиться в одній із напрямних труб.

Для експериментального визначення просторової вібрації заготовки токарного багатопшпіндельного автомата запропоновано застосовувати оптичні безконтактні методи вимірів, які полягають в реєстрації шляхом фотографування світлової плями, утвореної встановленим на заготовці рухомим джерелом світла. На поверхні прутка встановлювався спеціальний пристрій до складу якого входить джерело живлення та світловий випромінювач (фотодіод). За допомогою діафрагми світлова пляма мала діаметр 2 мм.

При обертанні прутка світлові плями описують криволінійні траєкторії, які фіксуються фотоапаратом з експозицією 5 с. При цьому фіксувалось близько 10 обертів фотодіода навколо осі заготовки. На плівці фотоапарата фіксуються траєкторії світлових плям у вигляді криволінійних кілець різної форми. Форма кільця залежить від поперечних коливань заготовки (рис.1).

Якщо поперечні коливання заготовки в перерізі де знаходиться фотодіод є незначними то форма світлового кільця близька до кола (нижня заготовка на рис.1). При наявності коливань перерізу заготовки форма світлового кільця відрізняється від кола. Якщо коливання заготовки є усталеними і їх параметри не змінюються за час експозиції то світлове кільце є суцільним (середня по висоті заготовка на рис.1). Ширина світлового кільця лише дещо змінюється по периметру. Відхилення форми світлового кільця від кола мають вигляд періодичних хвиль певного періоду і амплітуди.

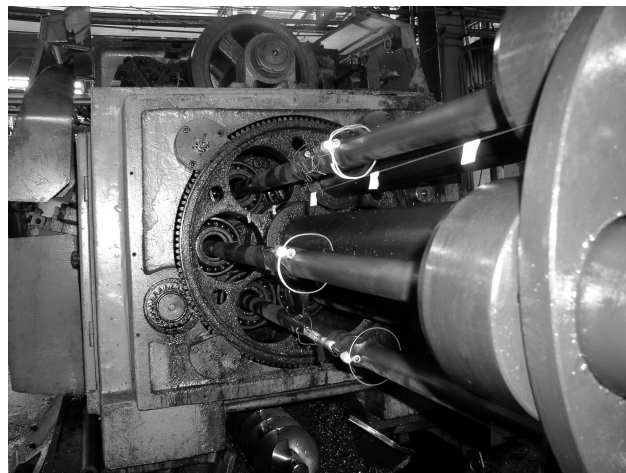


Рисунок 1 – Характерні форми світлових кілець зафіксовані фотоапаратом.

У випадку коли коливання заготовки є нестационарними світлове кільце може бути роздвоєним.

По фотографії світлового кільця визначаються рухи перерізу заготовки в поперечному напрямку. Світлова пляма яка фіксується на фотографії визначає положення кінця обертового радіуса вектора r_0 з центром обертання O_1 на осі перерізу заготовки.

Вплив коливань заготовки на форму і конфігурацію світлового п'ятна залежить від частоти коливань заготовки. Характерним часом для динамічної системи заготовки є період її обертання навколо осі. Під час експериментальних досліджень частота обертання шпинделя складала 125 об/хв. Це відповідає значенням характерного часу $T_0 \approx 0,5$ с.

Якщо період коливань заготовки набагато менший характерного часу то це проявляється у розширенні світлового кільця у точці де виникають дані високочастотні коливання.

Коли період коливань заготовки дещо менший характерного часу $T \approx \frac{T_0}{(2...3)}$ то

коливання заготовки, при їх невеликій амплітуді, проявляються у вигляді зміни форми світлового кільця в залежності від зміни полярного кута.

По збільшеній фотографії світлового кільця визначені його геометричні розміри. Для цього введена система полярних координат з деяким центром. В даній системі координат з інтервалом по полярному куту $7,5^\circ$ визначено положення масиву точок, що відповідають середній лінії світлового кільця та радіальній ширини кільця. Частина світлового кільця закрита заготовкою. Дану частину було уточнено по фотографіям, які зроблено додатковою фотокамерою, встановленою з протилежної сторони напрямних труб. Вибрана система координат і точки в яких здійснено виміри геометричних розмірів світлового кільця наведені на рис.2. Масив точкових значень середньої лінії та ширини кільця введено в ЕОМ у вигляді векторів і згладжено за допомогою кубічних сплайнів із одержанням неперервної залежності.

Одержана полярна діаграма визначає довгоперіодичні (низькочастотні) коливання заготовки. Згладжена кубічними сплайнами середня лінія світлового кільця являє собою траєкторію світлової плями, яка обертається разом із заготовкою (рис.3). Зменшивши полярний радіус діаграми на величину радіуса обертання знайдемо

траєкторію руху центра заготовки $r(\varphi) = rk(\varphi) - r_0$, яка відповідає довгоперіодичним коливанням заготовки (рис.4).

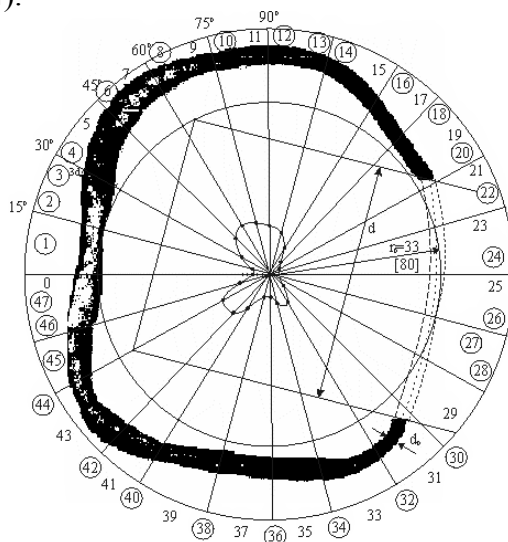


Рисунок 2 – Система координат в якій визначені геометричні розміри світлового кільця та точки в яких здійснені виміри

Із аналізу траєкторії центра заготовки випливає, що загальні зміщення заготовки в горизонтальному напрямку сягають 10 мм, а у вертикальному напрямку 15 мм. Використовуючи полярну діаграму знайдено переміщення центра заготовки у горизонтальному $\delta x(\varphi)$ і вертикальному $\delta y(\varphi)$ напрямках.

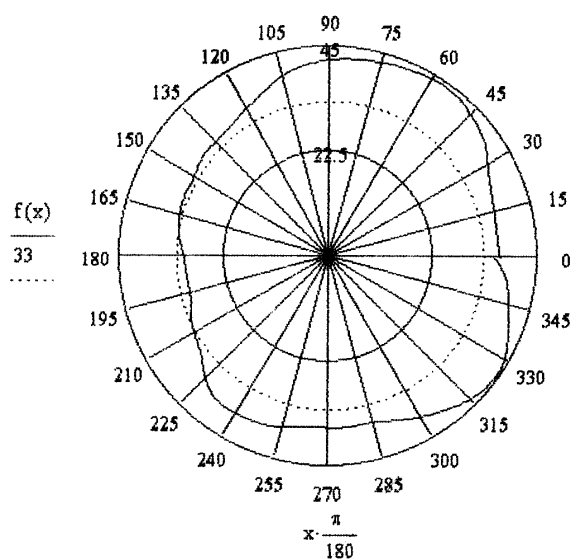


Рисунок 3 – Згладження точкових значень середньої лінії світлового кільця за допомогою кубічних сплайнів

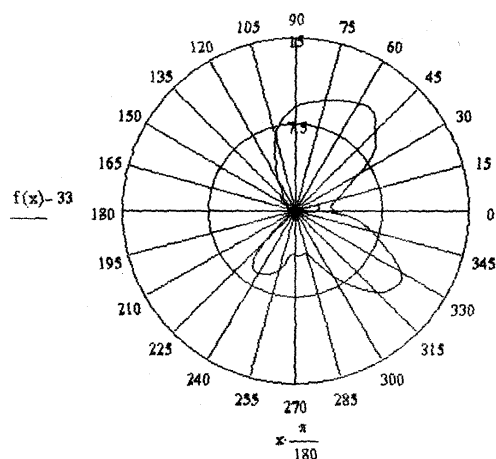
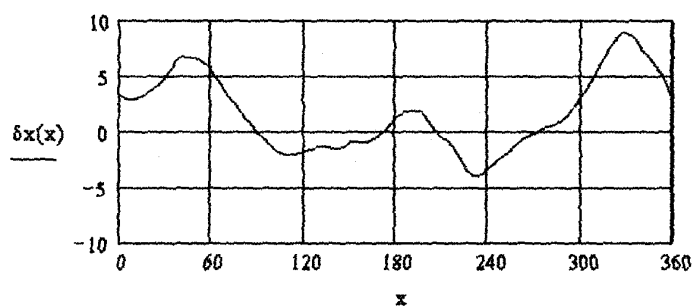
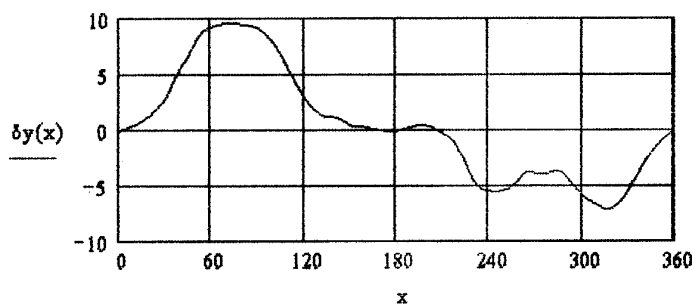


Рисунок 4 – Траєкторія руху центра перерізу заготовки визначена в полярній системі координат по формі середньої лінії кільця



а)



б)

Рисунок 5 –Переміщення центра заготовки у горизонтальному (а) та вертикальному (б) напрямках

Переміщення центра заготовки у горизонтальному та вертикальному напрямках мають складний коливальний характер (рис.5) і відповідають лише довгоперіодичним складовим коливань заготовки. Із аналізу графіків випливає, що довгоперіодичні складові переміщення являють собою гладкі процеси близькі до полігармонічних.

Для розгляду складових процесу здійснено спектральний аналіз діаграми, яка описує переміщення центра світлової плями.

Для визначення коефіцієнтів в ряду Фур'є застосована наступна схема. Сформовано масив точкових значень центральної лінії світлового кільця послідовно для трьох повних обертів полярного кута. Одержаний масив згладжено кубічними сплайнами. Центральний період процесу використано для знаходження коефіцієнтів в ряду Фур'є [1].

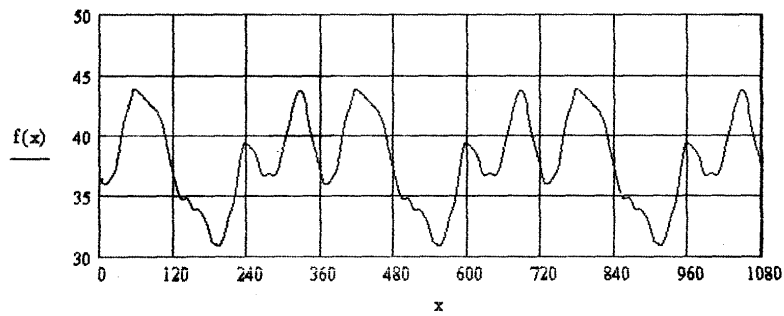


Рисунок 6 – Сплайн апроксимація діаграми центральної лінії світлового кільця для трьох періодів по полярному куту

Одержані спектри коефіцієнтів ряду Фур'є засвідчують наявність як парної так і не парної складових коливань.

Із аналізу коефіцієнтів випливає, що на полярній діаграмі присутні лише кілька перших суттєвих гармонік. Для уточнення кількості даних гармонік та визначення їх вкладу в формування процесу використані спектри амплітуд і початкових фаз розкладу (рис.7).

Із аналізу спектра амплітуд випливає, що в даному випадку суттєвими є гармоніки номера яких не перевищують 10. Головною є гармоніка із номером 1, яка не є характерною при аналізі коливань заготовки. Відповідним вибором початку координат полярної діаграми амплітуда даної гармоніки може бути компенсована. На спектрі амплітуд суттєвими є гармоніки з номерами 2,4,3,5. Це відображає закономірності овальності діаграми (гармоніка з номером 2), огранку контуру по чотирьом граням (гармоніка з номером 4), а також по 3-м і 5-ти граням.

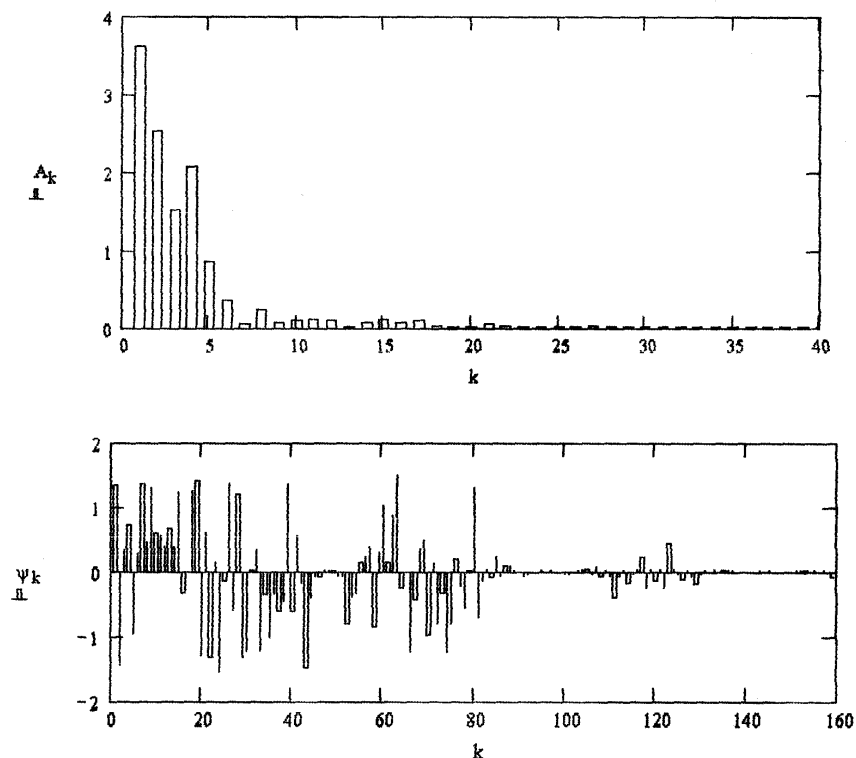


Рисунок 7 – Спектри амплітуд A_k і початкових фаз φ_k , які відповідають розкладу в ряд Фур'є полярної діаграми середньої лінії світлового кільця

Наявність суттєвих парних гармонік з невисокими номерами (№2 і №4) свідчить про наявність двох перпендикулярних напрямків коливань. Ці напрямки відповідають напрямку дії гравітаційних сил. Спектр початкових фаз суттєвих гармонік не є характерним. Фазовий поворот суттєвих гармонік сягає $\pi/2$ (90°).

Для оцінки вкладу окремих гармонік у формування процесу розглянуто спектр його потужності (рис.8).

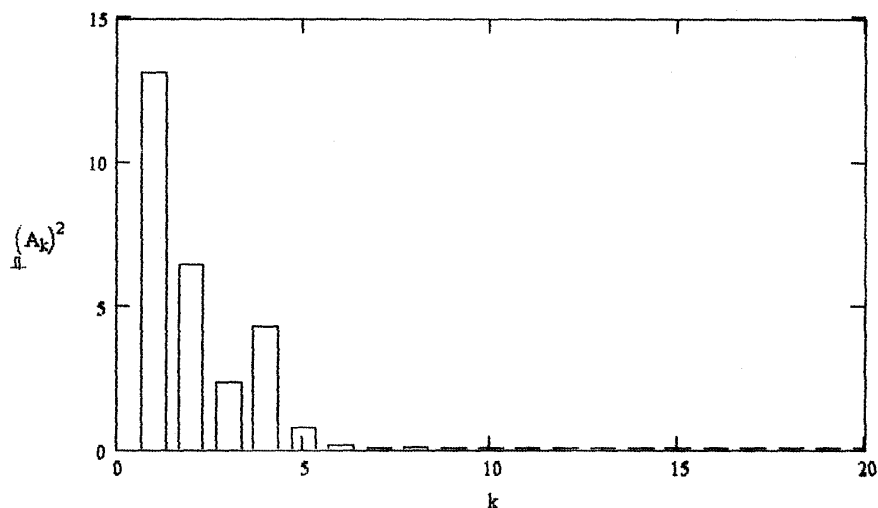
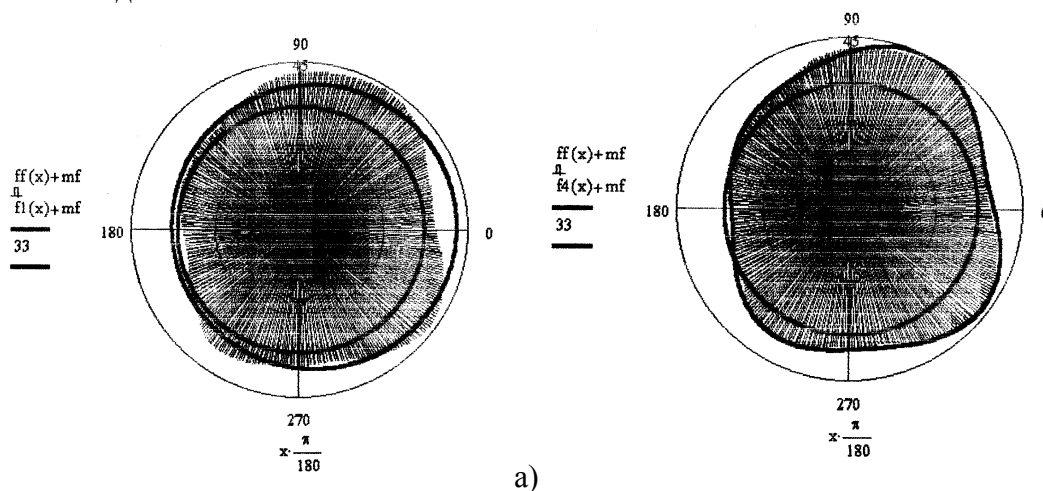


Рисунок 8 – Спектр потужності процесу, який описує полярну діаграму середньої лінії світлового кільця

В спектрі потужності суттєві гармоніки з номерами 1...5 дають основний вклад. Вкладу гармонік з номерами 2, 4, 3, 5 співвідноситься як числа 6, 4, 2, 1, що наближено відповідає квадратам амплітуд 2-ї, 4-ї та 3-ї і 5-ї гармонік. Вклад 5-ї гармоніки у формування потужності процесу складає близько 8% і ним можна знехтувати.

Спектральний аналіз дає можливість спростити опис полярної діаграми шляхом ігнорування несуттєвих складових ряду Фур'є. Перша гармоніка розкладу залежить від вибору системи координат. Друга гармоніка характеризує овальність полярної діаграми та напрямки її видовження і стискання.



б)

Рисунок 9 – Врахування однієї (а) і чотирьох (б) гармонік розкладу полярної діаграми, яка описує середню лінію світлового кільця

Властивість овальності не є специфічною властивістю для світлового кільця. Друга гармоніка лише кількісно описує полярну діаграму, але якісно вона недостатньо вичерпно описує процес. Із аналізу графіків випливає, що чотири гармоніки розкладу достатньо точно описують полярну діаграму. Це означає, що форма середньої лінії світлового кільця відображає довгоперіодичні (низькочастотні) коливання заготовки з періодами $T_1 = T_0$, $T_2 = T_0/2$, $T_3 = T_0/3$, $T_4 = T_0/4$.

Враховуючи, що значення одного оберту заготовки $T_0 \cong 0,5$ с визначимо періоди коливань заготовки $T_1 \cong 0,5$ с; $T_2 \cong 0,25$ с; $T_3 \cong 0,33$ с; $T_4 \cong 0,125$ с. Відповідні частоти коливань заготовки складуть ($f_i = \frac{1}{T_i}$, Гц): $f_1 = 2$ Гц, $f_2 = 4$ Гц, $f_3 = 6$ Гц, $f_4 = 8$ Гц.

З вищенаведеного можна зробити наступні висновки:

1. Оптичні безконтактні методи визначення вібраційного поля заготовки визначаються високою надійністю і достовірністю вимірів.
2. Низькочастотні складові коливань допускають розклад в ряд Фурє, причому суттєвими є лише 4 перших гармонік розкладу з частотами 2, 4, 6, 8 Гц.

Список літератури

1. Василенко М.В., Алексейчук О.М. Теорія коливань і стійкості руху.-К.:Вища школа, 2004.-525 с.

У статті приведені результати розробки методу оптичного вимірювання низькочастотних коливань заготовки при обробці на токарному багатошпиндельному автоматі. Встановлені закономірності переміщення центру заготовки, спектри амплітуд і початкових фаз коливань.

In the article the results of development of method of the optical measuring of nyzkochastotnykh vibrations of purveyance are resulted at treatment on a lathe mnogoshpyndel'nom automat. Conformities to the law of moving of center of purveyance, spectrums of amplitudes and initial phases of vibrations, are set.